



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Lufthastigheder i et lokale med fortrængningsventilation

Nielsen, Peter Vilhelm

Publication date:
1994

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Nielsen, P. V. (1994). *Lufthastigheder i et lokale med fortrængningsventilation*. Institut for Bygningsteknik, Aalborg Universitet. Gul Serie Bind R9442 Nr. 26

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

INSTITUTTET FOR BYGNINGSTEKNIK

DEPT. OF BUILDING TECHNOLOGY AND STRUCTURAL ENGINEERING

AALBORG UNIVERSITET • AUC • AALBORG • DANMARK

P. V. Nielsen

Lufthastigheder i et lokale med fortrængningsventilation

December 1994

ISSN 0902-7513 R9442

INSTITUTTET FOR BYGNINGSTEKNIK

DEPT. OF BUILDING TECHNOLOGY AND STRUCTURAL ENGINEERING
AALBORG UNIVERSITET • AUC • AALBORG • DANMARK

P. V. Nielsen

Lufthastigheder i et lokale med fortrængningsventilation

December 1994

ISSN 0902-7513 R9442

LUFTHASTIGHEDER I ET LOKALE MED FORTRÆNGNINGSVENTILATION

af Peter V. Nielsen, Aalborg Universitet

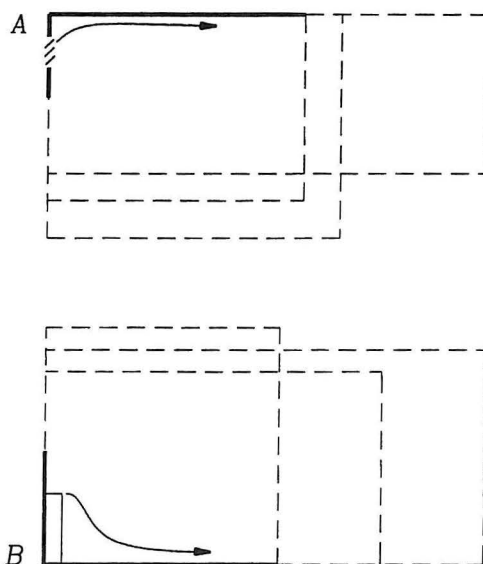
INDLEDNING

De sædvanlige dimensioneringsmetoder vil ofte give en mere detaljeret beskrivelse af lufthastighederne i lokaler med opblandingsventilation end i lokaler med fortrængningsventilation. Figur 1A indikerer, hvorledes en luftstråle fra et armatur, der giver opblandingsventilation, er uafhængig af rumdimensionen. Strålen er kun bestemt af begyndelsesimpulsen, og man kender dens hastighed igennem lokalet. Systemet kan dimensioneres ved hjælp af kastelængdemetoden, der er en metode, som sikrer, at hastighederne ikke bliver for store i opholdszonen, og den kan suppleres med andre beregningsmetoder, som fastlægger den maksimale hastighed i opholdszonen.

Figur 1B viser forholdene i et rum med fortrængningsventilation. Indblæsningsluften forlader det vægmonterede armatur med lav hastighed, og bevægelsen igennem rummet er bl.a. styret af tyngdens virkning på den kolde luft samt af opdriftkræfter omkring varmekilder.

Det er vigtigt at få opstillet en dimensioneringsmetode for fortrængningsventilation, der kan give detaljerede oplysninger om hastighedsfordelingen i opholdszonen. Det vil være hensigtsmæssigt, hvis der kan udvikles et formelsystem for strømningen i fortrængningsventilation, som er lige så simpelt som det, der gælder for stråler i opblandingsventilation. Det er især en fordel, hvis man kan betragte den lagdelte strømning som uafhængig af det omgivende rums dimensioner på samme måde, som stråler ved opblandingsventilation kan beskrives uafhængigt af det omgivende rum.

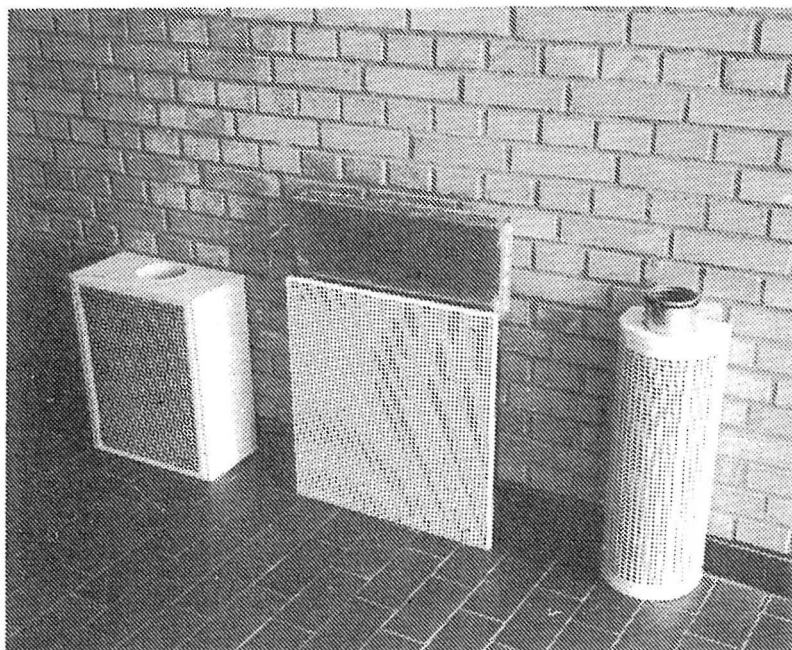
Klimagruppen på Aalborg Universitet har arbejdet med denne opgave i de seneste år. Det er lykkedes at udvikle en dimensioneringsmetode, der er simpel at anvende i praksis, og det har vist sig, at metoden inden for visse grænser kan anvendes uafhængigt af rumdimensionerne.



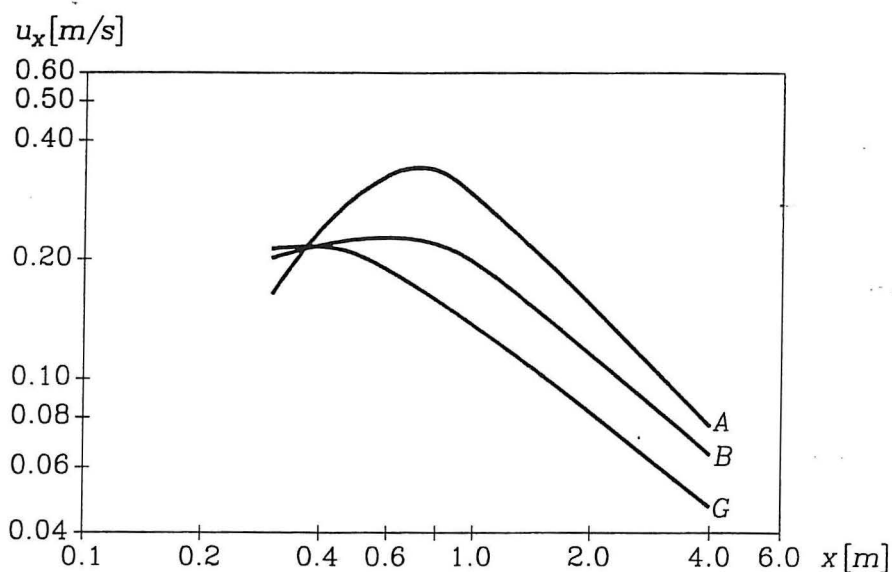
Figur 1. Stråle i et rum med opblandingsventilation (A) og lagdelt strømning i et rum med fortrængningsventilation (B).

LUFTSTRØMNING FRA ET ARMATUR TIL FORTRÆNGNINGSVENTILATION

Figur 2 viser tre typiske armaturer til fortrængningsventilation. De monteres i - eller ved - en væg, og de tilfører afkølet luft ved lav hastighed. Armatur A og B er af ældre dato. Armatur A giver en ensartet og fremadrettet luftstrømning, medens armatur B giver en spredende stråle med en meget varierende hastighedsfordeling over armaturets flade. Armatur G er et nyt armatur, som tilfører luften i et radiale mønster.



Figur 2. Tre typiske armaturer til fortrængningsventilation. Armatur A til venstre, armatur B i midten og armatur G til højre.



Figur 3. Hastighed i strømning fra vægmonteret armatur til fortrængningsventilation. For alle armaturer gælder det, at den maksimale hastighed u_x forekommer fra 2 til 5 cm over gulvet.

Vi kan indledningsvis se lidt på den hastighedsfordeling, der kan måles langs gulvet foran de tre armaturer, se figur 3. I alle tre tilfælde er der tale om nogenlunde samme termiske belastning af rummet og samme volumenstrøm q_o . Ved armatur A accelererer strømmingen op til 0,34 m/s i en afstand af 0,8 m fra armaturet, medens den holdes på lavere værdier for de to andre armaturer. Det er karakteristisk, at det indledende hastighedsniveau præger resten af hastighedsforløbet i strømmingen, og det er tydeligt, at der er opnået en stor forbedring med det nyeste armatur.

Hastighederne på figur 3 er afbildet i et dobbelt logaritmisk koordinatnet. Man ser, at kurverne har en hældning, der er tæt ved -1,0 svarende til, at hastigheden er omvendt proportional med afstanden. Dette er også karakteristisk for andre målinger på armaturer, og det underbygger den semi-analytiske model, vi skal omtale i det følgende.

STRØMNINGSMODEL FOR LAGDELT STRØMNING

Strømningen fra et armatur er en lagdelt strømning. Lagdelt strømning - eller stratificeret strømning - finder sted, når kold luft strømmer under en varm og stillestående luft. Der er en lille opblanding imellem de to områder, fordi turbulensen bliver dæmpet af temperaturforskellene. Den kolde luft kan nå dybt ind i et rum, da den ikke bliver opblandet. For eksempel kender vi alle den situation, at vi en vinterdag kan mærke en åben entrédør i den anden ende af huset, fordi der strømmer kold udeluft frem omkring benene.



Figur 4. Skitse der illustrerer den radiale strømning fra et vægmonteret armatur.

Ved hjælp af skitsen på figur 4 kan vi belyse den model, der er udviklet på Aalborg Universitet. Vi betragter den volumenstrøm, der passerer igennem en flade i afstanden x . Denne volumenstrøm er proportional med strømningsarealet $\pi x \delta$, hvor δ er højden af strømmingen, og den er proportional med maksimalhastigheden u_x i afstanden x . Ved lagdelt strømning er medrivningen af den omgivende luft lille i de vandrette forløb, derfor er volumenstrømmen uafhængig af x og proportional med den tilførte volumenstrøm q_o .

$$q_o = \text{konst} \pi x \delta u_x \quad (1)$$

Det viser sig, at lagtykkelsen δ er konstant og uafhængig af x i mange situationer, og man får derfor

$$q_o = \text{konst } x u_x \quad (2)$$

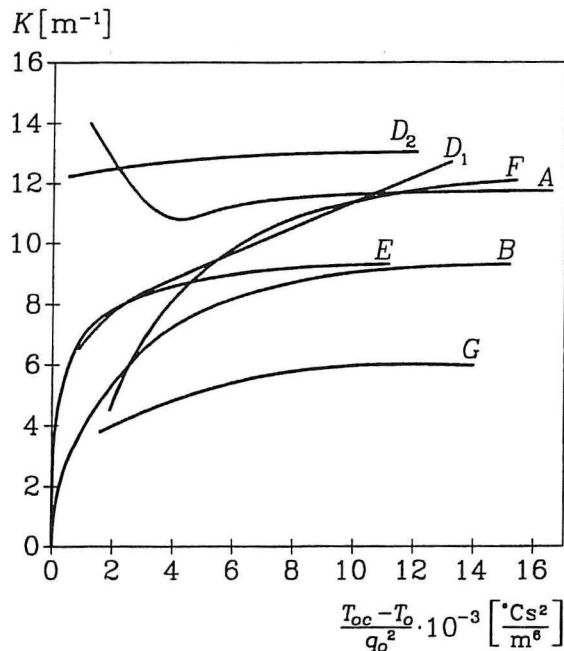
Ligning (2) kan omskrives til følgende udtryk

$$\frac{u_x}{q_o} = K \frac{1}{x} \quad (3)$$

hvor K er en variabel, der er afhængig af armaturtype og Arkimedes tal.

Det ses, at den maksimale lufthastighed u_x i en given afstand fra armaturet er proportional med K og med q_o , og det ses ligeledes, at u_x er omvendt proportional med x , som det også fremgår af målingerne på figur 3.

Ligning (3) giver en komplet beskrivelse af lufthastighedsfordelingen langs en midtlinie igennem opholdszonen under forudsætning af, at man kender variationen af faktoren K . Denne faktor kan man bestemme ud fra en række systematiske målinger på forskellige armaturer. Figur 5 viser K -variationen for syv forskellige armaturer som funktion af Arkimedes tal eller som funktion af temperaturdifferens og volumenstrøm. Som det fremgår af figuren, er der stor forskel på de forskellige armaturer, og det er tydeligt, at de nyeste armaturer (E og G) har de bedste egenskaber udtrykt ved, at de giver lavest hastighed i opholdszonen ved en given belastning.



Figur 5. K -faktor for forskellige armaturer.

Det er naturligvis også muligt at kombinere den information, der ligger i figur 5 med ligning (3), og man får fx for armatur G

$$u_x = 0,64 q_o^{0,5} (T_{oc} - T_o)^{0,25} \frac{1}{x} \quad (4)$$

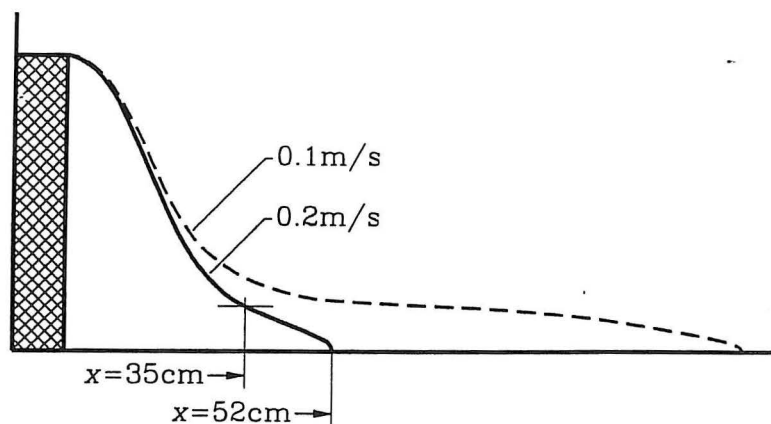
hvor T_{oc} er temperaturen i opholdszonen (målt i højden 1,10 m), og T_o er indblæsnings-temperaturen. Ligning (4) gælder for store Arkimedes tal.

Som nævnt i indledningen er det en god egenskab, hvis strømningen fra et armatur er relativt uafhængig af rumdimensioner, varmekildeplacering m.m., fordi det så er muligt at anvende et udtryk som ligning (3) til en generel dimensionering. Forsøgene på Aalborg Universitet viser, at hastighedsfordelingen efter ligning (3) er uafhængig af det omgivende rum, når blot man anvender en rimelig armaturdimension til den sektion, man ønsker at ventilere. For eksempel giver forsøg i to forskellige rum med symmetrisk armaturplacering identiske resultater (rumlængde henholdsvis 4 m og 6 m). Ligeledes viser forsøg med to armaturer i et rum, at hastighedsforholdene i praksis er uændrede i den ventilerede halvdel af rummet, når armaturet i den anden halvdel bliver frakoblet. Endelig skal nævnes, at hastighedsforløbet i den lagdelte strømning langs gulvfladen ikke er nævneværdig påvirket af forskellige varmekildeplaceringer, uanset om kilden er placeret tæt ved eller langt fra armaturet eller kilden er placeret højt eller lavt.

Målinger viser dog, at der opstår en plan strømning i dybe rum, der ventileres i længderetningen såvel som i rum med tætsiddende armaturer. I disse tilfælde kan hastigheden tilnærmelsesvis blive konstant hen igennem opholdszonen.

NÆRZONE

Der er tradition for at angive armaturenes luftfordelingsegenskaber ved størrelsen af en nærzone. Ved nærzonens længde ℓ_n forstår man afstanden fra armaturet til det område, hvor hastigheden er faldet til 0,2 m/s eller til et område i 0,1 m højde, hvor hastigheden er faldet til 0,2 m/s. Nærzonens længde ℓ_n er en funktion af volumenstrømmen fra armaturet, og den er en funktion af temperaturdifferensen. Det er vigtigt, at ℓ_n er lille i forhold til rummets længde, fordi nærzonen angiver det område, der er uegnet som opholdszone på grund af træk fra armaturet.



Figur 6. Hastighedskonturer foran et vægmonteret armatur af typen G.

$q_o = 0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ og $T_{oc} - T_o = 6^\circ\text{C}$.

Figur 6 viser hastighedsfordelingen foran et typisk armatur. Strømningen fra armaturet er radial, og luften falder ned til gulvfladen på grund af luftens tyngde. Hastighedskonturen for 0,2 m/s viser, at ℓ_n er 0,52 m i den givne situation, og målinger viser også, at ℓ_n er 0,35 m, hvis nærzonen defineres til en højde af 0,1 m.

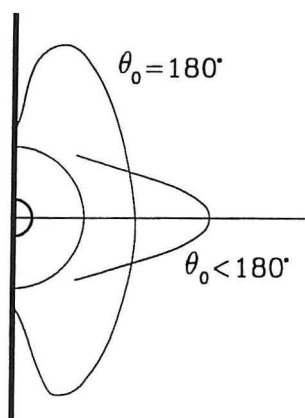
Det er muligt at angive nærzonen ud fra K -værdien, og man får

$$\ell_n = 5 q_o K \quad (5)$$

DESIGN AF ET ARMATUR

Formel (3) og figur 5 er vigtige ved dimensionering af et system, men de giver ikke nogle retningslinier for optimalt design af et armatur. Disse retningslinier kan man få ud fra en teoretisk model for K -faktoren, og de vigtigste resultater af denne model skal gennemgås i det følgende.

Den spredningsvinkel θ_o , som armaturet tilfører luften ud over gulvfladen, er en af de vigtigste parametre. Ved første generations armaturer var spredningsvinklen begrænset i forhold til den mulige vinkel på 180° , se figur 7, og der opstod derfor en høj hastighed hen igennem opholdszonen. Armatur A er et eksempel på et armatur, hvor θ_o er mindre end 180° , og hvor vinklen vokser med stigende temperaturdifferens. Armatur B er konstrueret, så det udnytter hele vinklen foran armaturet, og det genererer derfor et lavere hastighedsniveau, som det ses af figur 3. Armaturet har en lavere K -værdi ved alle praktiske driftsforhold.



Figur 7. To eksempler på den vandrette radiale hastighedsfordeling foran et vægmonteret armatur.

Formen af den radiale hastighedsfordeling er en anden vigtig parameter. Armatur G er konstrueret, så fordelingen dækker 180° , og hastighedsprofilet har de største hastigheder uden for strømningens midtlinie, se figur 7. Denne løsning giver en meget lav K -værdi og dermed en lav hastighed omkring strømningens midtlinie i rummet. Hastighedsfordelingens form harmonerer godt med opholdszonens placering, som ofte vil have nogen afstand til den væg,

hvor armaturet er placeret. Mange nye armaturer er udstyret med mulighed for en individuel indstilling af hastighedsfordelingens form.

Der er andre størrelser, der har betydning for hastigheden. Strømning i et tyndt lag (lille δ) vil give høj hastighed, og det ses af figur 5, hvorledes K -værdien stiger ved stigende temperaturdifferens, netop fordi δ bliver mindre.

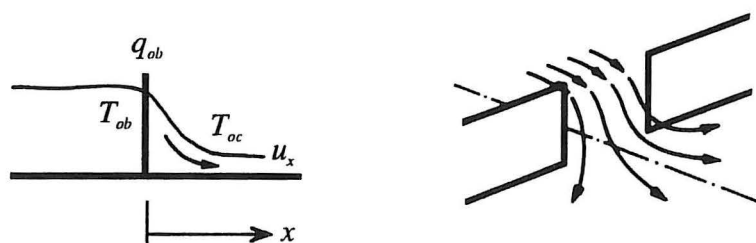
Der er som nævnt kun en lille medrivning af luft i den vandrette strømning langs gulvet. I den lodrette strømning foran armaturet vil der være en medrivning af størrelsen to til tre gange den tilførte volumenstrøm. Der findes armaturer med indbygget induktionsdyser, som har større induktion af luft. Armatur D_2 er et eksempel på et sådant armatur. Dette armatur anvendes ved de forhold, der gælder for opblandingsventilation, dvs. lav volumenstrøm og høj temperaturdifferens. Derfor giver armaturet en begrænset hastighed i opholdszonen, selvom det tilsyneladende har en høj K -værdi.

FORTRÆNGNINGSVENTILATION I MØBLEREDE LOKALER

Til forskel fra opblandingsventilation løber den primære stråle i fortrængningsventilation direkte igennem opholdszonen. Det er derfor vigtigt at undersøge, om møblerede lokaler forstyrrer denne strømning.

Man kan få en god fornemmelse af strømningen ved at forestille sig et tungt luftlag (ca. 15 cm tykt), som strømmer igennem rummet på samme måde som vand, der strømmer i en å. Hastigheden vil være maksimal i en højde af 2 til 5 cm, og hvis strømningen møder en forhindring, stiger højden for maksimal hastighed til ca. 10 cm på samme måde, som vandet staves op foran en bundgarnspæl. Generelt vil møbler ikke genere strømningen, fordi laget er så tyndt, og fordi det kolde luftlag vil løbe omkring større forhindringer og fylde læområderne op. Skillevægge og konstruktioner, der lukker dele af rummet omkring et armatur, vil virke som lukkede kar for den kolde luft, og luftmængden til et sådant område skal derfor være tilpasset varmekilderne i området.

Der kan opstå en særlig situation foran et område, der er delvis afspærret af skillevægge, som går helt til gulvet. Som eksempel kan nævnes skillevægge i kontorlandskaber, skranker i banker og receptioner samt døre, der åbnes.

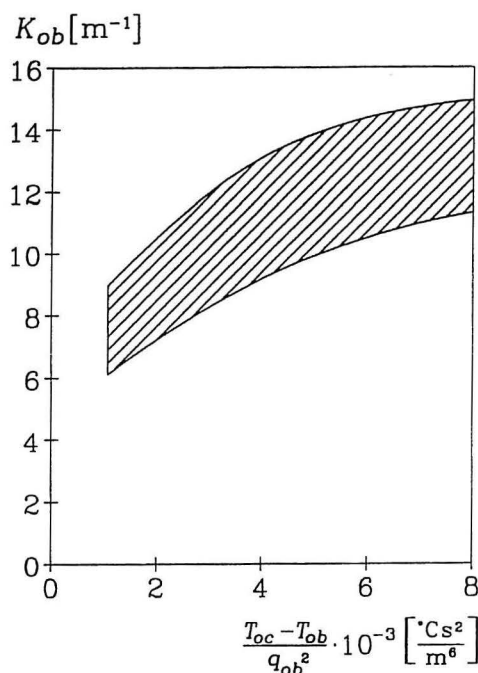


Figur 8. Lagdelt strømning fra en åbning i en skillevæg. u_x og T_{oc} er lufthastighed og temperatur foran åbningen, medens q_{ob} og T_{ob} er flow igennem åbningen og laveste temperatur i denne.

Figur 8 viser, hvorledes en åbning i en skillevæg kan blive kilde til en strømning, der minder om strømning fra et armatur. Strømningen opstår, hvis der er en ubalance imellem den luft, der tilføres af armaturet, og den luft der fjernes ved de tilsvarende varmekilder. Den overskydende luftmængde q_{ob} strømmer igennem åbningen som et vandfald, og der opstår en radial strømning i rummet foran åbningen. Den lagdelte strømning er af samme karakter som en strømning fra et armatur, og derfor kan den beskrives ved en ligning, der svarer til ligning (3)

$$\frac{u_x}{q_{ob}} = K_{ob} \frac{1}{x} \quad (6)$$

hvor K_{ob} er en koefficient, der er karakteristisk for åbningens geometri, højden af det kolde luftlag og temperaturdifferensen. Figur 9 viser niveauet af K_{ob} ved en række målinger, og man ser ved sammenligning med figur 5, at strømningen fra en åbning i en skillevæg svarer til strømningen fra et dårligt armatur.



Figur 9. K_{ob} -faktor for en åbning som funktion af volumenstrøm og temperaturdifferens.

Da armaturer til fortrængningsventilation er monteret ved gulvet, er der en fare for, at brugerne laver forstyrrelser for strømningen til forskel fra situationen ved opblandingsventilation. Figur 10A viser et fritstående armatur i et atrium ved Falkoner Hotellet i København. Figur 10B viser, hvorledes dette armatur er omgivet af skillevægge ved en kunstmesse i 1993. Væggene står en meter fra armaturet, og der er en åbning på et par meters bredde ud imod de andre udstillere. Der blev talt meget om den kølige blå skulptur på denne messe.



Figur 10. A) Cylindrisk armatur til fortrængningsventilation monteret i atriets i Falkoner Hotellet i København. B) Opbygning af vægge omkring armaturet i forbindelse med en udstilling.

FORSKNING I FORTRÆNGNINGSVENTILATION PÅ AALBORG UNIVERSITET

Beregningsmetoden, der er gennemgået i denne artikel, er udviklet over en årrække. Arbejdet har været støttet af Energistyrelsens energiforskningsprogram, af Rockwool Prisen og af Forskerakademiet. Mange studerende har været involveret i fuldskalaforsøg med fortrængningsventilation, og klimagruppen har en række publikationer på området, som vi gerne sender til interesserede.

Der vil også i fremtiden blive arbejdet med området fortrængningsventilation. Vægten vil blive lagt på flere forskellige områder som lodret temperaturgradient, hastighedsfordeling i opholdszonen, personeksponering og en generel databasemodel for fortrængningsventilation. Udviklingsarbejdet vil fortsat bygge på fuldskalaforsøg og teoretisk analyse af strømnings-elementerne, men strømningssimulering på computere vil blive mere udbredt.

Air Velocity in a Room with Displacement Ventilation

High air velocities in a room with displacement ventilation are located close to the floor where the air moves in a thin layer through the occupied zone.

The article describes a new design method which makes it possible to calculate the velocity distribution in this area and it is shown that the flow is a stratified flow governed by gravity forces. The article gives a description of an adjacent zone which can be defined for a wall-mounted diffuser and a number of important details in the diffuser design are also discussed. The flow in rooms with furniture and rooms with short walls and other flow obstacles is discussed at the end of the article.

